10.22092/sppi.2021.123893

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۶، شماره ۴، سال ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از تجزیه GGE بای‌پلات و AMMI

Evaluation of Seed Yield Stability of Lentil Genotypes Using GGE Bioplot and AMMI Analysis

رحمت‌الله کریمی‌زاده[۱]، پیام پزشکپور[۲]، امیر میرزایی[۳] و پیمان شریفی[۴]

۱- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.
۲- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

چکیده

کریمی زاده، ر.، پزشکپور، پ.، میرزایی، ا. و شریفی، پ. ۱۳۹۹. ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از تجزیه GGE بای‌پلات و AMMI. **مجله نهال و بذر ۳۶:** ۴۳۸-۴۲۱.

در این پژوهش ۱۸ ژنوتیپ عدس در سه سال زراعی (۹۵-۱۳۹۲) در شرایط دیم مناطق گچساران، ایلام و خرم‌آباد کشت شدند. بر اساس تجزیه واریانس اثر اصلی افزایشی و ضرب پذیر (AMMI) اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط و سه مؤلفه اصلی اول بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند. بر اساس شاخص انتخاب همزمان (ASV)، ژنوتیپ‌های G12، G16، G8، G9 و G2؛ ssiSIPC، ژنوتیپ‌های G11، G12، G9، G2 و G7؛ ssiEV، ژنوتیپ‌های G9، G11، G2، G7 و G15؛ ssiZA، ژنوتیپ‌های G12 ، G9، G2، G16 و G7؛ ssiWAAS، ژنوتیپ‌های G12، G9، G16، G2 و G8 به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. نمای چندضلعی GGE بای‌پلات ژنوتیپ‌های G2 و G12 را با پایداری عملکرد بالا مشخص کرد. نمای محور تستر متوسط (ATC) نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G10، G18 و G12 علاوه بر پایداری عملکرد، دارای عملکرد بالاتر از میانگین کل نیز بودند. برپایه نمای بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ‌های G1، G16، G8، G18، G10، G15 و G12 ژنوتیپ‌های مطلوب بودند. نمای برداری GGE بای‌پلات نشان داد که محیط E1 (گچساران، ۹۳-۱۳۹۲) با قدرت نمایندگی و جداکنندگی بالا می‌تواند ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار را متمایز کند. در مجموع، بر اساس نماهای مختلف بای‌پلات و شاخص‌های انتخاب همزمان بر پایه مدل AMMI، ژنوتیپ G12 برترین ژنوتیپ بود و می‌تواند نامزد نامگذاری و آزادسازی به عنوان یک رقم جدید عدس برای شرایط دیم باشد.

واژه های کلیدی: عدس، جداکنندگی، سازگاری، شاخص انتخاب همزمان، شاخص‌های پایداری.

نگارنده مسئول: r.karimizadeh@areeo.ac.ir تلفن: ۰۷۴۳۲۳۴۳۴۰۱

مقدمه

در کشورهای در حال توسعه مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب آسیا، عدس که منبع اصلی تأمین پروتئین مردم است، همچون حبوبات دیگر نقش مهمی در نظام‌های کشت سنتی ایفا می‌کند. علاوه بر اهمیت گیاه عدس در تأمین پروتئین، نقش آن در تثبیت نیتروژن توسط ریزوبیوم های ریشه می‌تواند آن را گیاهی مهم در چرخه تناوب با غلات قرار دهد (Bagheri *et al.*, 1997). با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان و نیاز روزافزون بشر به غذا، اصلاح گیاهان زراعی برای تأمین غذا بیش از پیش اهمیت دارد، به‌طوری‌که یک از مهمترین اهداف به‌نژادی، افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط مختلف محیطی و تأمین امنیت غذایی برای تمامی مردم دنیا است (Sharifi and Aminpanah, 2016).

افزایش عملکرد عدس در شرایط دیم به عواملی مانند سازگاری به محیط اقلیمی و سایر شرایط محیطی نیاز دارد (Karimizadeh *et al.*, 2008). از آنجا که امکان تولید رقمی جدید با سازگاری گسترده جغرافیایی و تنوع قابل ملاحظه محدود است، چنین رقمی باید بتواند پاسخ‌دهی مناسب به شرایط مختلف داشته باشد و از پتانسیل محیط‌های مختلف استفاده کند. آگاهی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط که برای دانشمندان علوم ژنتیک و به‌نژادی دارای اهمیت ویژه‌ای است به نژادگران نبات کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها با دقت بیشتری عمل کرده و بهترین ژنوتیپ‌ها را برگزینند (Sharifi *et al.*, 2017).

پژوهش‌هایی در زمینه ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تجزیه پایداری با روش‌های مختلف برای عدس انجام شده است. به طوری‌که کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2013a) در تحقیقی با روش GGE بای‌پلات، در ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ عدس نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب ۴۹ و ۲۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند و با نمودارهای بای‌پلات‌بدست آمده از این دو مؤلفه، ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند.

در پژوهشی دیگر، کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2013b)، با ارزیابی پایداری ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش GGE بای‌پلات دریافتند که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۴۸ و ۴۱ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند و بنابراین با اطمینان بالا نسبت به ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار اقدام کردند. همچنین کریمی‌زاده و محمدی (Karimizadeh and Mohammadi, 2010) با ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش تجزیه پایداری AMMI نشان دادند که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بود و این سه جزء به‌ترتیب ۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد از مجموع مربعات کل ترکیبات تیماری را در بر

می‌گرفتند.

تورک و کندال (Turk and Kendal, 2017) با ارزیابی شش ژنوتیپ عدس در هشت محیط، نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب ۴۴/۸۹ و ۲۴/۱۴ درصد از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند و با استفاده از مدل GGE بای‌پلات ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. در پژوهشی دیگر، با ارزیابی ۲۴ ژنوتیپ عدس نشان داده شد که دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۹۰ درصد تنوع برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند و از GGE بای‌پلات برای ارزیابی همزمان عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده کردند و همچنین محیط متمایز کننده (Discriminative) یا حاوی اطلاعات (Informative) که در بیشترین میزان تنوع سهیم بود، را شناسایی کردند (Jeberson *et al.*, 2019).

کانونی و همکاران (Kanouni *et al.*, 2007) با ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس با تجزیه AMMI نشان دادند که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به‌طور عمده‌ای تحت تأثیر بخش محیطی برهمکنش ژنوتیپ در محیط قرار دارد و سه مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب ۵۲/۱۹، ۲۰/۲۶ و ۱۰/۹۹ درصد از کل برهمکنش ژنوتیپ در محیط را به خود اختصاص دادند.

هدف از این پژوهش شناسایی ژنوتیپ‌های عدس با سازگاری خصوصی و عملکرد مطلوب با پایداری عملکرد با استفاده از تجزیه بای‌پلات GGE و AMMI بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته عدس به‌همراه دو رقم شاهد کیمیا و گچساران (جدول ۱) که منتخب آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ بودند، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سه منطقه گچساران، ایلام و خرم‌آباد در سه سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۲) در کرت‌هایی به طول پنج متر و عرض یک متر بر روی پنج خط با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۲۰۰ دانه در مترمربع کشت شدند. برای تهیه زمین، هر سال زمینی که در سال پیش از آن آیش بود، با گاوآهن شخم زده شد و خاک آن با دیسک و روتیواتور نرم گردید. کود شیمیایی بر مبنای نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۳۵ کیلوگرم اوره، به هنگام آماده‌سازی زمین، بطور یکنواخت مصرف و با خاک مخلوط شد. پس از برداشت، عملکرد دانه وزن شد.

مختصات جغرافیایی و مقدار بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- نام و شجره ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه

Table 1. Name and pedigree of studied lentil genotypes

ردیف No.	نام/شجره Name/Pedigree	منشأ Origin
1	GACH LOC 2010-01	Iran
2	FLIP2007-16L ILL 2126/ILL 4659	ICARDA
3	FLIP2010-8L ILL 2126/ILL 6199	ICARDA
4	FLIP2011-1L ILL 6443/ILL 1005	ICARDA
5	FLIP2011-5L ILL 6434/ILL 6972	ICARDA
6	FLIP2011-6L ILL 6434/ILL 6972	ICARDA
7	FLIP1996-15L(Ibla 1) ILL 6209/ILL5671	Iran
8	ILL 4605/ADDA 2006-03-0GA-0GA-0GA-11	Iran
9	ILL 6434/ILL 8008 2006-03-0G-0GA-0GA-11	Iran
10	ILL 4605/ADDA 2006-06-0G-0GA-0GA-11	Iran
11	ILL 4605/ILL 6002 2006-02-0G-0GA-0GA-11	Iran
12	ILL 7547/ILL 6211 2006-02-0G-0GA-0GA-11	Iran
13	ILL 7547/ILL 6002 2006-03-0G-0GA-0GA-11	Iran
14	ILL 6211/ILL 6002 2006-07-0G-0GA-0GA-11	Iran
15	FLIP 2005-32L	ICARDA
16	FLIP 2005-53L	ICARDA
17	Kimia	Iran
18	Gachsaran	Iran

جدول ۲- مختصات جغرافیایی و میانگین بارندگی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic coordinates and average rainfall of experimental sites

Location	مکان	ارتفاع (متر از سطح دریا) Altitude (m above sea level)	عرض جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Latitude	میانگین بارندگی (میلی‌متر) Average rainfall (mm)
Gachsaran	گچساران	710	50°50' E	30°17' N	450
Ilam	ایلام	975	46°36' E	33°47' N	350
Khoramabad	خرم‌آباد	1147	48°18' E	33°29' N	445

جدول ۳- بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در فصل زراعی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵.

داخل پرانتز کد محیط است

Table 3. Annual rainfall of test environments in 2013-2016 cropping seasons.

Environment codes are presented in parenthesis

Location	مکان	2013-14	2014-15	2015-16
Gachsaran	گچساران	503.7 (E1)	420.6 (E4)	390.1 (E7)
Khoramabad	خرم‌آباد	363.6 (E2)	294.1 (E5)	743.4 (E8)
Ilam	ایلام	396.1 (E3)	325.8 (E6)	737.8 (E9)

تجزیه AMMI و GGE بای‌پلات به‌ترتیب با استفاده از بسته‌های تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام METAN (Multi environment trial analysis) (Olivoto, 2019 و GGEBiplotGUI (Bernal and Villardon, 2016) در محیط نرم‌افزار R انجام شد. در جدول ۴ روابط استفاده شده برای برآورد پارامترهای AMMI ارائه شده است.

جدول ۴- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 4. Stability analysis indices

ردیف No.	شاخص Index	فرمول Formula	رفرنس Reference
1	AMMI stability value (ASV)	$ASV = \sqrt{[\frac{SSIPC1}{SSIPC2}(IPC1)^2] + (IPC2)^2}$	Purchase *et al.,* 2000
2	Sum of IPCs scores (SIPC)	$SIPC = \sum_{n=1}^{N} \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	Sneller *et al.,* 1997
3	Eigenvalue (EV) stability parameter of AMMI	$EV = \sum_{n=1}^{N} \gamma_{in}^2 / n$	Zobel *et al.,* 1988
4	Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (Za)	$Za_i = \sum_{n=1}^{N} \lvert \theta_n \gamma_{in} \rvert$	Zali *et al.,* 2012
5	Simultaneous selection index (ssi)	SSI = R(AMMI stability Indices) + RY	Farshadfar, 2008
6	Weighted average of absolute scores (WASS)	$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} \lvert IPCA_{ik} \times EP_k \rvert}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$	Olivoto *et al.,* 2019

در رابطه شماره ۱ (ASV)، نسبت $SSIPC1/SSIPC2$، وزن اختصاص داده شده به نخستین محور مؤلفه اصلی (IPC1) است که با تقسیم مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (دومین محور مؤلفه اصلی) بدست می‌آید.

در رابطه شماره ۲، λ_n، ریشه مشخصه IPC در محور nأم است. در این رابطه، N برای SIPC1 برابر با ۱ و برای SIPCF برابر با تعداد IPCهایی است که در مدل باقی مانده است.

در رابطه‌های شماره ۳ و ۴، γ_{in}، ریشه مشخصه برای محور nأم و N (N′ در رابطه شماره ۴)، تعداد مؤلفه‌های اصلی است که در تجزیه واریانس AMMI با آزمون F معنی‌دار شده است.

در رابطه شماره ۴، θn، درصد مجموع مربعات توجیه شده به‌وسیله nاُمین محور IPC است. در این رابطه‌ها، ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین این شاخص‌ها، دارای پایدارترین عملکرد هستند.

در رابطـه شـماره ۵، R(AMMI stability Indices)، رتبـه ژنوتیپ‌هـا بـر پایـه هرکـدام از شاخص‌های پایداری AMMI ذکر شـده در بـالا و RY، رتبه میانگین عملکـرد دانـه ژنوتیپ‌هـا در تمام محیط‌ها است.

در رابطه شـماره ۶، $WAAS_i$ میـانگین وزنـی نمرات مطلق ژنوتیپ iاُم؛ $IPCA_{ik}$، نمره ژنوتیـپ iاُم در kاُمـین محـور مؤلفـه اصـلی بـرهمکنش (IPCA)؛ و EP_k، مقـدار واریـانس توجیـه شـده توسط kاُمین IPCA است. ژنوتیـپ بـا کمتـرین مقـدار WAAS، دارای عملکـرد پایـدار در نظـر گرفته می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019).

نتایج و بحث

تجزیه واریانس AMMI

تجزیـه واریـانس داده هـا در هـر کـدام از محیط‌هـا نشـان داد کـه در هفـت محـیط از نـه محیط، اثر ژنوتیپ بر عملکرد دانه معنـی‌دار بـود کـه گویـای تفـاوت بـین ۱۸ ژنوتیـپ در ایـن محیط‌هـا بـود (داده‌هـا نشـان داده نشـده‌اند). همچنـین بررسـی عملکـرد ژنوتیپ‌هـا در محیط‌هـای مختلـف گویـای واکـنش متفـاوت ژنوتیپ‌هـا بـه محیط‌هـا بـود، ازایـن‌رو تجزیـه پایداری بر روی این داده‌ها بـه روش AMMI و بای‌پلات GGE انجام شد.

تجزیـه AMMI نشـان داد کـه اثـر محـیط، ژنوتیـپ و بـرهمکنش ژنوتیـپ × محـیط بـر عملکرد دانـه معنـی‌دار بـود. ایـن نتـایج همچنـین نشان داد که سـه مؤلفـه اصـلی بـه‌ترتیب بـا سـهم ۴۴/۲۴، ۲۳/۶۸ و ۱۴/۱۰ درصد نقش زیـادی در برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشـتند و مؤلفـه‌های باقیمانده در درجه‌های بعدی اهمیت قرار داشـتند و فقط حدود ۱۸ درصد از برهمکنش ژنوتیـپ × محیط را توجیه کردند.

کانونی و همکاران (Kanouni *et al.*, 2007) نیـز بـا ارزیـابی ۱۰ ژنوتیپ عدس نشان دادنـد کـه سـه مؤلفـه اصـلی اول اثـر معنـی‌داری در بـرهمکنش ژنوتیـپ در محـیط داشـتند و از تجزیـه AMMI بـرای شناسـایی ژنوتیپ‌هـای پایـدار بهـره گرفتنـد. سـهم نسـبتاً بـالای دو مؤلفـه اصـلی اول در بـرهمکنش ژنوتیـپ × محـیط در ایـن پـژوهش بـا یافتـه‌های دهقـانی و همکـاران (Dehghani *et al.*, 2008)، کریمـی‌زاده و همکـاران (Karimizadeh *et al.*, 2013a) و کریمـی‌زاده و همکـاران (Karimizadeh *et al.*, 2013b) بـه‌ترتیب بـا سهم ۶۱/۶ و ۳۱/۲ درصـدی، ۴۹ و ۲۰ درصـدی و ۴۸ و ۴۱ درصـدی دو مؤلفـه اصـلی اول و دوم در برهمکنش ژنوتیپ × محیط همخوانی دارد.

سهم محیط، ژنوتیـپ و بـرهمکنش ژنوتیـپ در محـیط در مجمـوع مربعـات کـل بـه‌ترتیب ۶۵/۸، ۱/۵ و ۱۵/۱ درصـد بـود (جـدول ۵) کـه نشـان‌دهنده ایـن اسـت کـه تنـوع مشـاهده شـده در بـین ژنوتیپ‌هـا در محیط‌هـای مختلـف بیشتر برآمده از اثر محـیط و بـرهمکنش ژنوتیـپ × محیط بود و ژنوتیـپ چنـدان نقـش زیـادی در ایـن بـرهمکنش نداشـت. مجمـوع مربعـات

برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۱۵/۱ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داده بود و این موضوع در مورد درجه آزادی برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۲۸/۰۴ درصد بود. این یافته با گزارش کریمی‌زاده و محمدی (Karimizadeh and Mohammadi, 2010) که نشان دادند در ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مجموع مربعات کل به‌ترتیب ۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد بود، همخوانی دارد.

بنابراین با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط، نیاز به ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با روش‌های تجزیه پایداری بود. اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × محیط در عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس، عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد. بنابراین از آنجا که برهمکنش ژنوتیپ× محیط می‌تواند هر گونه پیشرفت برآمده از گزینش را کاهش دهد، در گزینش ارقام تلفیق علمکرد بالا و پایداری عملکرد می‌تواند به نتایج خوبی بیانجامد.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب روش امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس

Table 5. AMMI combined analysis of variance for seed yield of lentil genotypes

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	درصد از کل % Total
Environment (E)	محیط	8	127760508	15970064**	
Replication (E)	تکرار (محیط)	18	5266121	292562	
Genotype (G)	ژنوتیپ	17	2839649	167038	
E × G	ژنوتیپ × محیط	136	29259238	215141**	
PC1	مولفه اصلی اول	24	14564039	606835**	44.2
PC2	مولفه اصلی دوم	22	5059066	229958**	23.7
PC3	مولفه اصلی سوم	20	4125708	206285**	14.1
Residual	باقیمانده	70	5510423	78720	17.7
Error	حطای آزمایشی	306	29084257	95047	
Total	کل	485	194209772	400433	

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

شاخص‌های پایداری AMMI و انتخاب همزمان

از آنجا که برهمکنش ژنوتیپ × محیط و سه مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بودند، با پارامترهای مختلف AMMI پایداری ژنوتیپ‌ها ارزیابی شد. از آنجا که در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر توجه به هر دو شاخص پایداری و عملکرد دانه مهم است در جدول ۶ میانگین عملکرد هر کدام از ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها نشان داده شده است، به‌طوری‌که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها ۱۵۶۶ کیلوگرم در هکتار بود و

جدول ۶- شاخص‌های پایداری، رتبه و شاخص انتخاب همزمان برای ژنوتیپ های عدس

Table 6. Stability indices, rank and simultaneous selection index for lentil genoptypes

کد ژنوتیپ Genotype code	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg ha^{-1})	ASV	SIPC	EV	ZA	rY	rASV	rSIPC	rEV	rZA	ssiASV	ssiSIPC	ssiEV	ssiZA	WAAS	rWAAS	ssiWAAS
G1	1538	31.8	20.9	0.0424	0.161	10	13	12	9	13	23	22	19	23	8.62	14	24
G2	1590	14.9	16.8	0.0290	0.101	7	7	6	6	6	14	13	13	13	5.02	7	14
G3	1503	22.4	13.8	0.0142	0.109	13	9	4	4	8	22	17	17	21	5.91	8	21
G4	1490	13.4	11.0	0.0116	0.076	16	5	1	1	2	21	17	17	18	3.98	2	18
G5	1620	64.4	38.0	0.1110	0.307	6	18	18	17	18	24	24	23	24	16.70	18	24
G6	1491	7.8	20.6	0.0730	0.103	15	1	11	13	7	16	26	28	22	4.80	5	20
G7	1533	18.0	11.7	0.0128	0.090	12	8	3	2	3	20	15	14	15	4.85	6	18
G8	1676	25.1	28.9	0.1100	0.167	3	10	14	16	14	13	17	19	17	8.12	11	14
G9	1554	12.4	11.3	0.0134	0.075	9	4	2	3	1	13	11	12	10	3.90	1	10
G10	1486	11.1	17.2	0.0374	0.097	17	3	7	8	4	20	24	25	21	4.72	4	21
G11	1623	34.1	18.5	0.0323	0.156	5	14	8	7	11	19	13	12	16	8.59	13	18
G12	1626	8.9	19.2	0.0457	0.099	4	2	9	11	5	6	13	15	9	4.66	3	7
G13	1496	37.7	34.4	0.1050	0.229	14	15	16	15	15	29	30	29	29	11.80	15	29
G14	1559	29.5	20.4	0.0427	0.153	8	12	10	10	10	20	18	18	18	8.16	12	20
G15	1692	60.5	26.3	0.0707	0.246	2	16	13	12	16	18	15	14	18	13.90	16	18
G16	1725	14.9	30.4	0.1210	0.160	1	6	15	18	12	7	16	19	13	7.58	10	11
G17	1455	63.6	35.1	0.1030	0.290	18	17	17	14	17	35	35	32	35	15.90	17	35
G18	1538	27.1	16.2	0.0242	0.128	11	11	5	5	9	22	16	16	20	6.97	9	20

SY: Seed Yiled
ASV: AMMI Stability value
SIPC: Sum of IPCs scores
EV: Eigenvalue stability
ZA: Absolute value of the relative contribution of interaction IPCs
rY: Rank of yield
rASV: Rank of ASV
rSIPC: Sum of IPCs scores
rEV: rank of eigenvalue stability
rZA: Rank based on absolute value of the relative contribution of interaction IPCs
ssi (ASV, SIPC, EV, ZA): Simultaneous selection index for ASV, SIPC, EV, ZA
WAAS: Weighted average of absolute scores
rWAAS: Rank based on weighted average of absolute scores
ssiWAAS: Simultaneous selection index for weighted average of absolute scores

SY: عملکرد دانه
ASV: ارزش پایداری امی
SIPC : مجموع امتیازات مولفه‌های اصلی
EV:: پایداری مقادیر ویژه
ZA: ارزش مطلق سهم نسبی مولفه‌های اثر متقابل
rY: رتبه عملکرد
rASV: رتبه براساس ارزش پایداری امی
rSIPC: رتبه مجموع امتیازات مولفه‌های اصلی
rEV: رتبه براساس پایداری مقادیر ویژه
rZA: رتبه براساس ارزش مطلق سهم نسبی مولفه‌های اثر متقابل
ssi: شاخص انتخاب همزمان برای آماره‌های امی (ASV, SIPC, EV, ZA)
WAAS: میانگین وزنی امتیازات مطلق
rWAAS: رتبه براساس میانگین وزنی امتیازات مطلق
ssiWAAS: شاخص انتخاب همزمان براساس میانگین وزنی امتیازات مطلق

بیشترین عملکرد دانه برای ژنوتیپ شماره G16 (۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) و بعد از آن به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره G15، G8، G12، G11، G5 و G2 بود. رقم شاهد کیمیا (ژنوتیپ شماره G17) با میانگین تولید ۱۴۵۵ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد دانه را داشت.

بر اساس شاخص ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپ‌های شماره G6، G12، G10، G9 و G4 با داشتن کمترین امتیاز این شاخص، به ترتیب دارای پایدارترین عملکرد دانه بودند. گزارش‌هایی مبنی بر استفاده از شاخص ASV به‌عنوان یک معیار مفید برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار در عدس وجود دارد (Dehghani *et al.*, 2008; Karimizadeh *et al.*, 2010; Karimizadeh *et al.*, 2013a; Karimizadeh *et al.*, 2013b).

شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های G4، G9، G7، G3 و G18 و شاخص EV، ژنوتیپ‌های G4، G7، G9، G3 و G18 را به ترتیب پایدارترین عملکرد دانه شناسایی کردند. شاخص ZA نیز ژنوتیپ‌های G9، G4، G7، G10 و G12 را به ترتیب به‌عنوان پنج ژنوتیپ با عملکرد پایدار شناسایی نمودند. شاخص WAAS که برای برآورد آن، از همه مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار (باقیمانده در مدل) با وزن‌های مختلف استفاده شد، ژنوتیپ‌های G9، G4، G12، G10 و G6 را به ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای عمکرد دانه پایدار شناسایی کردند.

همان‌گونه که در رابطه‌های برآورد شاخص‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است، در برآورد این شاخص‌ها فقط به جنبه‌های پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بسنده شد و از آنجا که مقدار عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در این ارزیابی‌ها نقش ندارد، امکان گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین همچون ژنوتیپ‌های G3، G4، G6 و G10 با عملکردی پایین‌تر از میانگین کل عملکرد ژنوتیپ‌ها وجود دارد، بنابراین شاخص انتخاب همزمان (ssi) بر پایه هر کدام از شاخص‌های بالا برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر به کار گرفته شد. شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های G12، G16، G8، G9 و G2؛ ssiSIPC، ژنوتیپ‌های G11، G12، G9، G2 و G7؛ ssiEV، ژنوتیپ‌های G9، G11، G2، G7 و G15 و ssiZA، ژنوتیپ‌های G12، G9، G2، G16 و G7 را به ترتیب به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کردند. همچنین با استفاده از شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های G12، G9، G16، G2 و G8 به ترتیب ژنوتیپ‌های برتر بودند (جدول ۶).

از آنجا که در شناسایی این ژنوتیپ‌های برتر به دو جنبه عملکرد بالا و پایداری آن به‌طور همزمان توجه شد، استفاده از این شاخص‌ها نشانگر این واقعیت است که ژنوتیپ ها دارای پایدارترین عملکرد دانه عموماً بالاترین عملکرد دانه را نداشتند و در نتیجه شانس گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و اما پایدار ممکن

است کاهش یابد (Farshadfar, 2008). پژوهشگران دیگری نیز از شاخص گزینش همزمان برای عملکرد بالا و پایداری عملکرد در عدس استفاده کرده‌اند و ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی کرده‌اند (Sabaghnia *et al*., 2006).

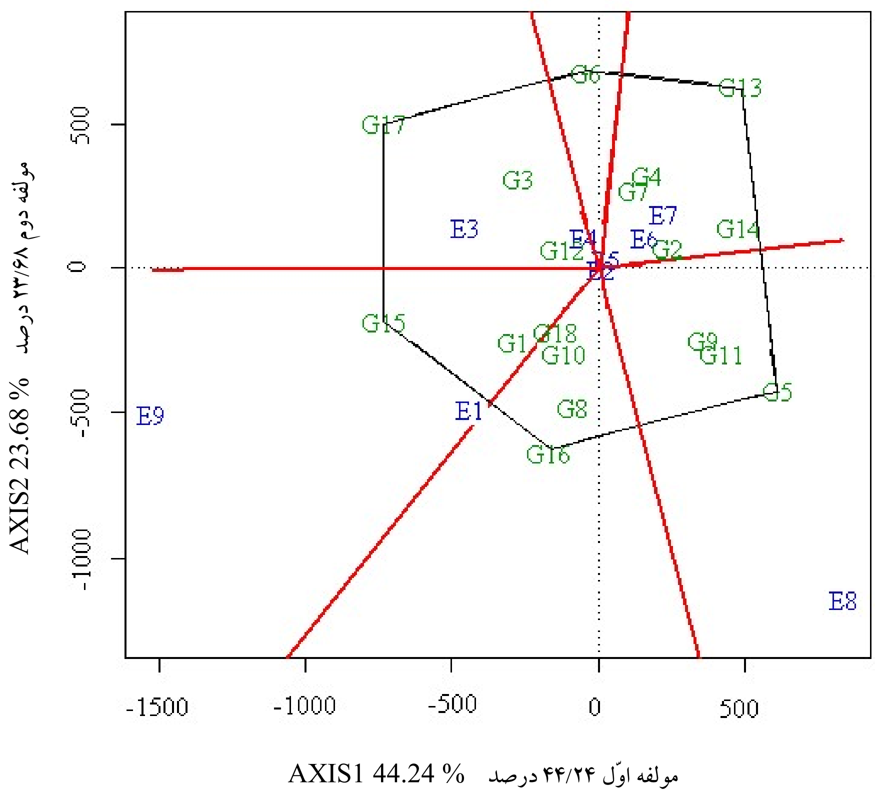
با آنکه دو مؤلفه اصلی اول در این پژوهش، ۶۷/۹ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند، گزینش ژنوتیپ‌های برتر فقط بر پایه این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از عملکرد دانه بالا می‌تواند نتایج نادرستی را در پی داشته باشد. برای نمونه بر پایه شاخص‌های مختلف AMMI، ژنوتیپ‌های G3، G4، G6 و G10 به ترتیب پایدارترین عملکرد دانه را داشتند، حال آنکه زمانی‌که ssi برای هر یک از این شاخص‌ها به‌کار گرفته شد، این ژنوتیپ‌ها در شمار ژنوتیپ‌های برگزیده نبودند. از سوی دیگر، ژنوتیپ G2 و G8 با آنکه بر اساس پارامترهای AMMI دارای عملکرد پایدار نبودند، اما بر پایه شاخص‌های ssi به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر بودند.

تجزیه GGE بای‌پلات

تجزیه GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۶۷/۹۲ درصد (به‌ترتیب ۴۴/۲۴ و ۲۳/۶۸) از کل تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. چنین نتیجه‌ای در خصوص سهم بالای دو مؤلفه اصلی اول در برهمکنش ژنوتیپ × محیط در عدس توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Kanouni *et al*., 2007; Karimizadeh *et al*., 2013a; Karimizadeh *et al*., 2013b; Turk and Kendal, 2017; Jeberson *et al*., 2019).

روش GGE بای‌پلات ابزار مناسبی برای ارزیابی عملکرد بر پایه مؤلفه اصلی اول و پایداری عملکرد بر مبنای مؤلفه اصلی دوم است (Yan and Kang, 2003). بر این اساس از نمای چندضلعی بای‌پلات (شکل ۱)، که از بهم پیوستن دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای‌پلات (ژنوتیپ‌های رأسی) پدید آورده می‌شود، برای دیدن برهمکنش‌ژنوتیپ × محیط و نشان دادن مفاهیمی چون سازگاری خصوصی یک ژنوتیپ و تفکیک محیط‌های کلان (Mega-environment) بهره گرفته شد (Yan and Kang, 2003). در این نمای بای‌پلات، چندضلعی با خطوطی عمود بر ضلع‌ها به بخش‌هایی تقسیم می‌شود، به‌طوری‌که در هر بخش بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپ جای‌گرفته در رأس آن بخش برای محیط‌های واقع در آن است (Yan *et al*., 2000).

در این نمای بای‌پلات (شکل ۱)، ژنوتیپ‌های G17، G6، G13، G5، G16 و G15 با داشتن بیشترین فاصله از مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌های رأسی بودند. در بخشی که ژنوتیپ G17 در رأس آن بود، ژنوتیپ‌های G3 و G12 و محیط‌های E3 و E4 جای داشتند که نشان می‌داد ژنوتیپ G17 (رقم کیمیا) و دو ژنوتیپ دیگر به این دو محیط سازگاری داشتند. در



شکل ۱- نمای چند ضلعی GGE بای‌پلات بر اساس عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ عدس در نه محیط. شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

Fig. 1. Polygon view of the GGE biplot based on seed yield of 18 lentil genotypes in nine environments. The code of genotypes and environments are similar to those in Table 1 and Table 2, respectively.

بخش بعدی که G6 در رأس آن بود، هیچ ژنوتیپ و محیطی جای نگرفته بودند، بنابراین نشان داد که این ژنوتیپ مناسب برای هیچ‌کدام از محیط‌ها نبود. با استفاده از شاخص گزینش همزمان بر اساس شاخص‌های AMMI نیز چنین نتیجه‌ای گرفته شد. ژنوتیپ رأسی G13 در بخشی جای داشت که ژنوتیپ‌های G2، G4، G7، G13 و G14 و محیط‌های E6 و E7 را در بر می‌گرفت، بنابراین می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های یادشده، ژنوتیپ‌های برتر برای این دو محیط بودند.

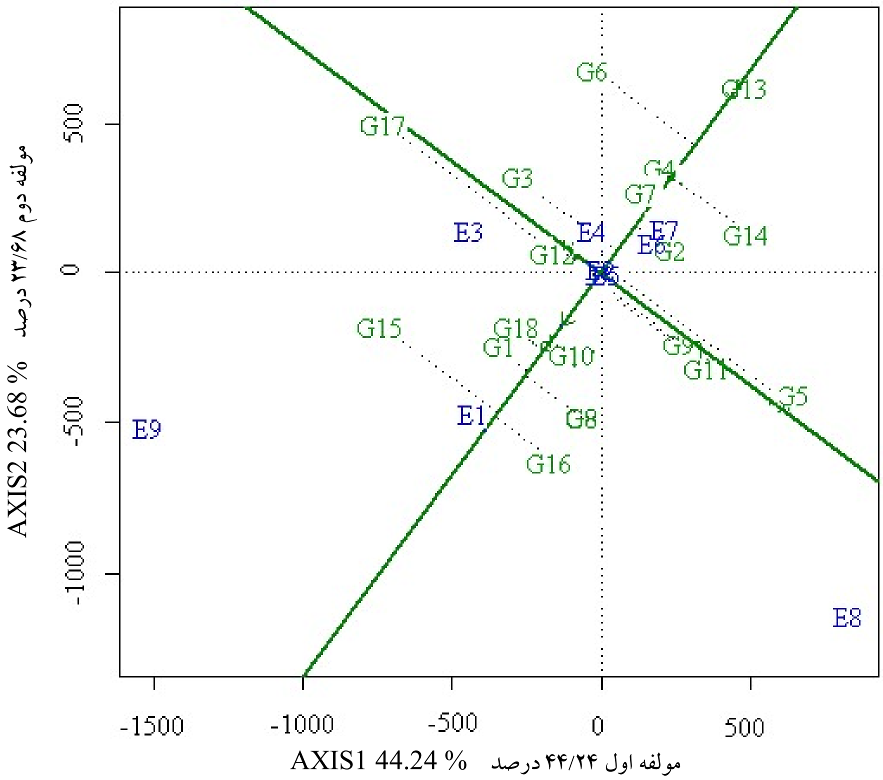
در بخش چهارم، ژنوتیپ G5 و ژنوتیپ‌های G11 و G9 به‌همراه محیط E8 جای داشتند، بنابراین برای این محیط با توجه به فاصله آن از بای‌پلات از توانایی جداکنندگی خوبی نیز بین ژنوتیپ‌ها برخوردار بود، ژنوتیپ‌های G5، G11

و G9 ژنوتیپ‌های برتر بودند. در بخش پنجم ژنوتیپ G16 در رأس همراه با ژنوتیپ‌های G8 و G10 بدون سازگاری به هیچ‌کدام از محیط قرار داشتند. در بخش آخر این چندضلعی، ژنوتیپ‌های G15، G1 و G18 با سازگاری به محیط‌های E9 و E1 قرار داشتند. از دیگر کاربردهای این نمای بای‌پلات، شناسایی ژنوتیپ‌های دارای پایداری عملکرد بالا بر پایه نزدیکی به مبدأ بای‌پلات است که بر این اساس ژنوتیپ‌های G2 و G12 دارای پایداری عملکرد به همه محیط‌ها بودند.

کاربرد دیگر این نمای بای‌پلات شناسایی محیط‌های کلان یا ابر-محیط‌ها است که شامل محیط‌های E2، E3، E4، E5 و E7 (نخستین ابر-محیط) و E9 و E1 (دومین ابر-محیط) بود. محیط E8 جزء هیچ‌کدام از این محیط‌های کلان نبود. محیط‌های کلان برای کاستن شمار محیط‌ها در آزمایش‌های آینده و همچنین تشخیص نوع برهمکنش شامل تغییر در رتبه (ناشی از تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر کدام از گروه‌های محیطی) و تغییر در مقدار (ناشی از جای گرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه) استفاده می‌شود (Yan and Tinker, 2006). پژوهشگران دیگری نیز با روش بای‌پلات، ژنوتیپ‌های پایدار عدس و محیط‌های کلان را برای آن شناسایی کردند (Kanouni *et al.*, 2007; Karimizadeh *et al.*, 2013a; Karimizadeh *et al.*, 2013a; Turk and Kendal, 2017; Jeberson *et al.*, 2019;).

محور تستر متوسط (ATC) برای ارزیابی همزمان میانگین عملکرد دانه و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در یک بای‌پلات ژنوتیپ محور به‌کار گرفته شد (شکل ۲). رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر روی این محور که از مبدأ بای‌پلات و میانگین محیط (میانگین نمرات PC1 و PC2 محیط‌ها) می‌گذرد و بُعد افقی ATC نیز نامیده می‌شود، نمادی از اثر اصلی ژنوتیپ (G) یا میانگین متغیر وابسته است (Yan and Kang, 2003). بر پایه این نمای بای‌پلات، رتبه ژنوتیپ‌ها G13<G6<G14≈G4<G2<G3<G5<G9≈G12≈G11≈G17<G10≈G18<G1≈8<G15≈G16 بود.

بُعد قائم ATC که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و عمود بر بُعد افقی ATC است، تقریبی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط و در نتیجه شاخصی از تنوع یا ناپایداری ژنوتیپ‌ها بود (شکل ۲). بر این اساس، ژنوتیپ‌های G15، G17، G3 و G6 در بخش بالایی و ژنوتیپ‌های G9، G11، G5 و G14 در بخش پایین در دورترین نقاط از خط ATC، دارای برهمکنش ژنوتیپ × محیط بیشتر و پایداری عملکرد کمتر بودند. ژنوتیپ‌های G1، G10، G18 و G12 که نزدیک به محور ATC بودند، علاوه بر پایداری عملکرد دانه بودن نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر دارای عملکرد بالاتر از میانگین کل نیز بودند (شکل ۲).



شکل ۲- نمایش میانگین مختصات تستر (ATC) از GGE بای‌پلات بر اساس عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

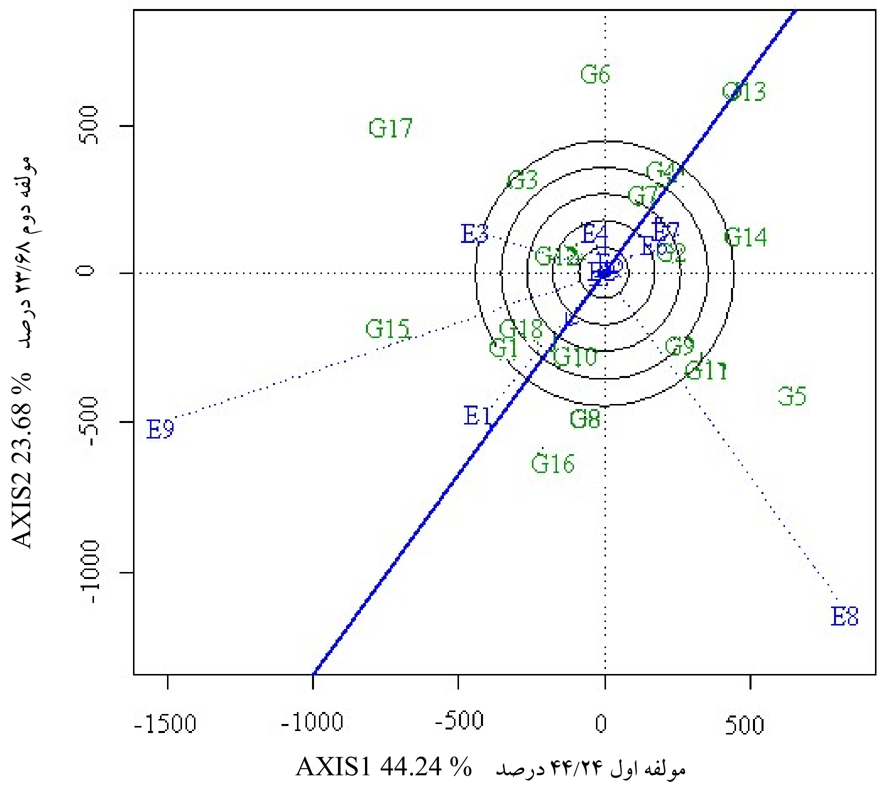
Fig. 2. Average tester coordinate (ATC) view of the GGE biplot based on seed yield of 18 lentil genotypes in nine environments. The code of genotypes and environments are similar to those in Table 1 and Table 2, respectively.

برای درک روابط بین محیط‌ها از نمای برداری GGE بای‌پلات استفاده می‌شود که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به مبدأ بای‌پلات وصل می‌شوند (شکل ۳). بر اساس این نمای بای‌پلات، برخی از بردارهای محیطی شامل محیط‌های E6 و E7 دارای همبستگی بالایی با همدیگر بودند. این نمای بای‌پلات همچنین نشان داد که محیط‌های E1، E8 و E9 با بردارهای بلند از توانایی جداکنندگی (Discriminating) بالایی برخوردار بودند و می‌توانند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به درستی برآورد کنند. محیط‌های E2، E5، E4، E6 و E7 در حلقه‌های نزدیک مبدأ بای‌پلات کمترین توانایی جداکنندگی را بین ژنوتیپ‌ها داشتند و اطلاعات کمی درباره ژنوتیپ‌ها فراهم آورند.

محیط‌های E2، E5، E1، E6 و E7 با داشتن

زاویه حاده نسبت به محور ATC، از نمایندگی (Representative) بیشتری نسبت به سایر محیط‌ها برخوردار بودند (Yan *et al.*, 2000). محیط‌های با زاویه حاده نسبت به خط ATC، به‌ویژه آنهایی که بردارهای بلندتری نیز دارند، همچون محیط ۱ (E1)، علاوه بر نمود عملکرد بالا، به خوبی می‌توانند ژنوتیپ‌های پایدار را از ژنوتیپ‌های ناپایدار جدا کنند و به بیانی دیگر دارای توانایی جداکنندگی بالایی نیز هستند.

در این محیط (گچساران، **۹۳-۱۳۹۲**)، مقدار بارندگی در مقایسه با میانگین بلندمدت و نسبت به سال زراعی قبل افزایش داشت و با توجه به پراکنش فصلی مناسب، بارندگی نسبتاً خوب در فصل بهار و خنکی هوا نسبت به میانگین طولانی



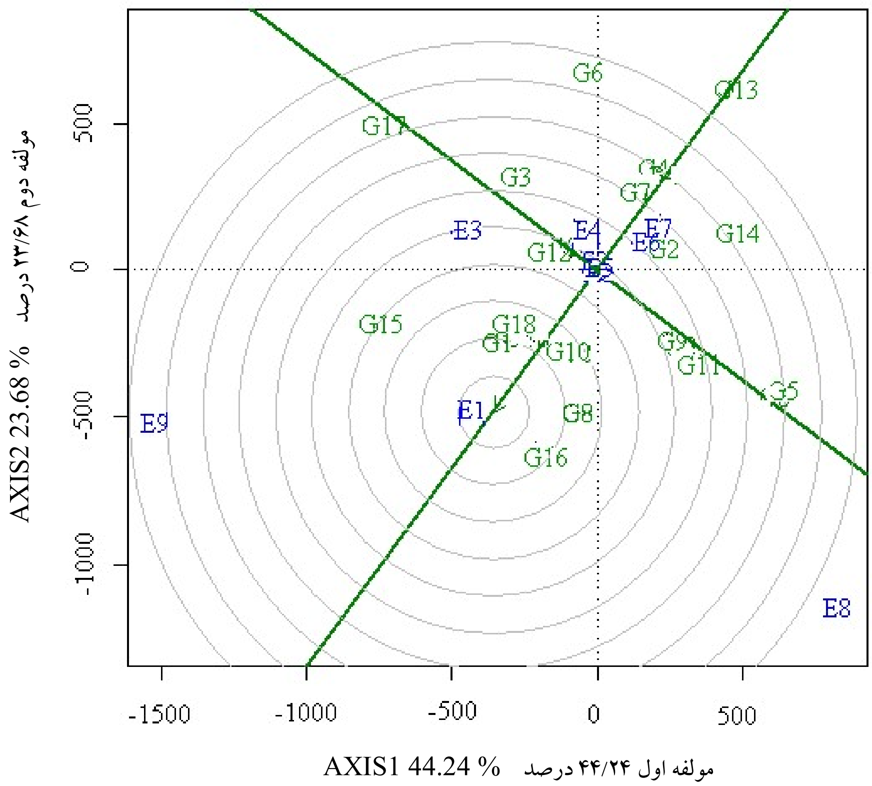
شکل ۳-نمای برداری GGE بای‌پلات که روابط بین محیط‌های آزمایش را نشان می‌دهد. شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

Fig. 3. The vector view of the GGE biplot that shows the interrelationships among the test environments. The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

مدت آن محیط مطلوبی فراهم نمود. به نظر می‌رسد که این ویژگی‌های مطلوب محیطی سبب نمایندگی و جداکنندگی بالای این ژنوتیپ‌ها شد. همچنین ضریب تغییرات (CV) آزمایش در این محیط ۹/۲ درصد بود که برای شرایط دیم مطلوب است. محیط‌های با توانایی جداکنندگی، اما غیر نماینده (همچون محیط‌های E8 و E9) برای گزینش ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی با توجه به تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان می‌توانند به‌کار گرفته شوند (شکل ۳). دو محیط E8 و E9 از نظر مقدار بارندگی نسبت به محیط‌های دیگر در شرایط مطلوبی بودند (جدول ۳).

در شکل ۴ یک دایره کوچک و پیکان در بُعد افقی ATC به ژنوتیپ ایده‌آل اشاره می‌کند، هرچند که ممکن است چنین ژنوتیپی در واقعیت وجود نداشته باشد، اما می‌تواند مرجعی برای ارزیابی سودمندی ژنوتیپ (Kroonenberg, 1995) و معیاری برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار باشد (Yan and Kang, 2003). چنین ژنوتیپی بیشترین میانگین عملکرد (با بیشترین طول بر روی خط ATC) و پایداری عملکرد (کمترین فاصله عمودی با خط ATC) را دارد. هر اندازه فاصله ژنوتیپ‌ها از این ژنوتیپ ایده‌آل بیشتر باشد، از مطلوبیت آن (عملکرد و پایداری عملکرد) کاسته می‌شود. و نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل (واقع در اولین دایره متحدالمرکز در بای‌پلات) به‌عنوان یک ژنوتیپ مطلوب می‌تواند در آزمایش‌های بعدی نیز استفاده شود، اما ژنوتیپ‌های نامطلوب که دور از ژنوتیپ ایده‌آل جای دارند می‌توانند در مراحل اولیه به‌نژادی حذف شوند (Yan and Kang, 2003). بر پایه این نمای بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G1، G16، G8، G18، G10، G15 و G12 واقع در دایره‌های اطراف ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ‌های مطلوب بودند (شکل ۴).

تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. از این‌رو تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار منطقی به نظر رسید. ژنوتیپ‌های G4 و G9 بر اساس کلیه شاخص‌های پایداری AMMI دارای عملکرد پایدار بودند. شاخص انتخاب همزمان (ssi)، بر اساس هر کدام از شاخص‌های AMMI، ژنوتیپ‌های G2، G12 و G9 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کردند. نمای چندضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه، پراکندگی مناسبی در محیط‌های آزمایشی داشتند. نمای محور تستر متوسط و نمای چندضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های G2 و G12 می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب باشند.



شکل ۴-نمای GGE بای‌پلات براساس مقیاس‌بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل. شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

Fig. 4. GGE-biplot view based on genotype-focused scaling for comparison of genotypes with the ideal genotype. The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

نمای برداری GGE بای‌پلات نشان داد که محیط E1 (گچساران، ۹۳-۱۳۹۲) با نمود عملکرد و توانایی جداکنندگی بالا به خوبی می‌توانند ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار را جدا کند. در مجموع بر اساس شاخص‌های مختلف، به‌ویژه شاخص‌های انتخاب همزمان بر پایه عملکرد دانه بالا و پایداری عملکرد (ssi) و نماهای مختلف بای‌پلات، ژنوتیپ G12 برترین ژنوتیپ بود و می‌تواند برای نامگذاری و آزادسازی به عنوان رقم تجاری جدید عدس برای شرایط دیم مدنظر قرارگیرد. این ژنوتیپ می‌توانند به‌عنوان والدین در برنامه های به‌نژادی عدس نیز مورد استفاده باشد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و کارکنان مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان های کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و

ایلام برای پشتیبانی و هماهنگی های لازم برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می کنند.

References

Bagheri, A., Goldani, M., and Hassanzadeh, M. 1997. Agronomy and breeding lentils. Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad Publication. 248 pp. (in Persian).

Dehghani, H., Sabaghpour, S. H., and Sabaghnia, N. 2008. Genotype × environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. Spanish Journal of Agricultural Research 6 (3): 385-394.

Farshadfar, E., 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pakistan Journal of Biological Science 11: 1791–1796.

Jeberson, M. S., Shashidhar, K. S., Wani, S. H., Singh, A. K., and Dar, S. A. 2019. Identification of stable lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for north hill zone of India. Legume Research 42 (4): 467-472.

Kanouni, H., Talei, A., Bihamta, M. R., Shahab, M. R., Kamel, M., and Mostafaei, H. 2007. Stability of seed yield of lentil genotypes in rainfed areas of the west of the country through AMMI analysis. Iranian Journal of Agricultural Sciences 38 (2): 295-302 (in Persian).

Karimizadeh, R., and Mohammadi, M. 2010. AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. Bulgarian Journal of Agricultural Science 16: 66-73

Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mohammadi, M., Sadeghzadeh Ahri, D., and Yousefi Azar, M. 2014. Evaluation of genotype × environment interaction by AMMI method in lentil lines. pp. 553-556. In Proceedings of the 5th Iranian Pulse Crops Conference. Karaj, Iran (in Persian).

Karimizadeh, R., M. Mohammadi, and N. Sabaghnia. 2013a. Site regression biplot analysis for matching new improved lentil genotypes into target environments. Journal of Plant Physiology and Breeding 3 (2): 51-65.

Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Mahmoodi, A. A., Roustami, B., Seyyedi, F., Akbari, F. 2013b. GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. Notulae Scientia Biologicae 5 (2): 256-262

Karimizadeh, R., Safikhani., M., Mohammadi., M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A. A., and Rostami, B. 2008. Determining rank and stability of lentil in rainfed condition

by non-parametric statistics. Journal of Science and Technology in Agriculture and Natural Resources 43 (1): 93-103 (in Persian).

Kroonenberg, P. M. 1995. Introduction to biplots for G × E tables. Centre for Statistics. Research Report 51. The University of Queensland, Brisbane, Australia. 22 pp.

Olivoto, T., Lucio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., and Jost, E. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal 111: 2949-2960.

Purchase, J. L., Hatting, H., and Van Deventer C. S. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil 17 (3): 101-107.

Sharifi P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, and A., Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice Science 24 (3): 173−180.

Sharifi, P., and Aminpanah, H. 2016. Evaluation of genotype × environment interactions, stability and a number of genetic parameters in rice genotypes. Plant Genetic Research 3 (2): 25-42 (in Persian).

Sneller, C. H., Kilgore-Norquest, L., and Dombek, D. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. Crop Science 7: 383–390.

Turk, Z., and Kendal, E. 2017. The practice of AMMI and GGE biplot analysis of lentil genotypes assessment in multi-environment trials. Philippine Journal of Crop Science 42 (3): 39-48.

Yan, W., and Kang M. S. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. 1st edition. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida. 271 pp.

Yan, W., and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science 86: 623–645.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheny, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40 (3): 597- 605.

Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. Annals of Biological Research 3: 3126–3136.

Zobel, R. W., Wright, A. J., and Gauch H. G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal 80: 388-393.